

Bitki Gelişimi ve Stres Toleransının Geliştirilmesi Üzerine Sürdürülebilir Bir Strateji: Priming Tekniği

Mustafa CERİTOĞLU^{1*}, Murat ERMAN¹, Fatih ÇİĞ¹, Sezer ŞAHİN², Abdulkadir ACAR³

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, TÜRKİYE

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Tokat, TÜRKİYE

³Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Tokat, TÜRKİYE

Geliş Tarihi/Received: 19.02.2021

Kabul Tarihi/Accepted: 28.10.2021

ORCID ID (Yazar sırasına göre / by author order)

 orcid.org/0000-0002-4138-4579  orcid.org/0000-0002-1435-1982  orcid.org/0000-0002-4042-0566

 orcid.org/0000-0002-0520-3945  orcid.org/0000-0002-8028-0633

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: ceritoglu@siirt.edu.tr

Öz: Priming tekniği, tohumun ekim öncesinde su veya düşük ozmotik potansiyele sahip çözelti içerisinde belirli bir süre ve sıcaklık altında bekletilerek tekrar kurutulması esasına dayanır. Priming uygulanan tohumlar kurutulduktan sonra direk ekilebilir veya priming uygulamalarının pragmatik etkilerini kaybetmemek suretiyle düşük sıcaklıklarda uzun süre depolanabilir. Genel olarak en çok kullanılan priming teknikleri hidro-priming, ozmo-priming, halo-priming, katı matris priming, hormonal priming, nano-priming ve biyo-priming olarak sıralanabilir. Priming tekniği, uygulanan tohumlarda çimlenme sürecindeki karakterlerin iyileştirilmesine, bitki gelişimi ve ürün veriminin teşvik edilmesine, çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransın geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Priming uygulamalarında başarının artırılmasına doğrudan etkili faktörlerin başında kullanılan çözeltinin yoğunluğu, tohum/çözelti oranı, priming süresi, havalandırma, ortam sıcaklığı, kurutma, depolama ortamının sıcaklığı ve depolama süresi gelmektedir. Tohum kaplama teknolojisinin priming tekniği ile birleştirilmesi amacıyla yürütülen çalışmalar tarımda sürdürülebilir yaklaşım açısından son derece önemlidir. Ek olarak, biyo-priming uygulamalarının tohum kaplama tekniğinde kullanılabilmesi ve depolama süresinin uzatılmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Böylece, kimyasal girdilerin ve ekosisteme olan zararlarının azaltılması noktasında devrim niteliğinde bir değişimin başlangıcı olacağı öngörülmektedir. Bu derlemenin amacı; i) Priming tekniklerinin bitki gelişimi ve stres toleransının geliştirilmesi üzerine kullanım olanaklarını değerlendirmek, ii) Bitkilerde stres mekanizmasının ve priming tekniklerinin stres yönetimi açısından avantajlarının anlaşılmasını sağlamak, ve iii) Yeni teknolojik ve bilimsel uygulamaların priming tekniği ile kullanımlarını incelemektir.

Anahtar Kelimeler: Antioksidan savunma sistemi, çimlenme, ekim öncesi uygulamalar, metabolik aktivite, sürdürülebilir tarım, tohum kaplama

A Sustainable Strategy on Plant Growth and Improvement of Stress Tolerance: Priming Technique

Abstract: Priming technique is based on the soaking of seed in water or a solution with low osmotic potential under a certain time and temperature before sowing, and re-drying to initial humidity level. Primed seeds might be sown directly or stored at low temperatures for a long time without losing the pragmatic effects of priming applications. In general, the most commonly used priming techniques can be listed as hydro-priming, osmo-priming, halo-priming, solid matrix priming, hormonal priming, nano-priming, and bio-priming. The priming technique contributes to improving germination characteristics, stimulating plant growth and crop yield, and the development of tolerance against various biotic and abiotic stress factors. The density of the used solution, seed/solution ratio, priming time, aeration, ambient temperature, drying, the temperature of the storage environment, and storage time are the main factors that directly affect the success of priming applications. Studies carried out to combine the seed coating technology with the priming technique are extremely important in terms of a sustainable approach in agriculture. In addition, studies on the use of bio-priming applications in seed coating techniques and on extending the

storage period are increasingly continuing. Thus, it is predicted that the reduction of chemical inputs and their damages to the ecosystem will be the initial of a revolutionary change. The purposes of this review are to; i) evaluate the possibilities of using priming techniques on plant growth and improvement of stress tolerance, ii) provide an understanding of the stress mechanism in plants and the advantages of priming techniques in terms of stress management, and iii) Examine the use of new technological and scientific applications with priming technique.

Keywords: Antioxidant defense system, germination, pre-sowing applications, metabolic activity, sustainable agriculture, seed coating

1. Giriş

Çevresel faktörler bitki metabolizmasını, fizyolojisini, gelişimini ve verimini etkileyen temel bileşenlerdir. Optimum çevresel koşullar ve yararlı organizmalar bitki gelişimini teşvik ederken, olumsuz şartlar ve patojenler bitkilerde stres etmenlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Bitkilerde stres; kuraklık, tuzluluk, ağır metal, ekstrem sıcaklık, besin eksikliği, yabancı ot istilası, hastalık ve zararlı etmenler gibi biyotik ve abiyotik çevresel faktörlere bağlı olarak bitkilerde meydana gelen morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler değişimler olarak tanımlanmaktadır (Willey, 2016; Sabagh ve ark., 2021a, 2021b).

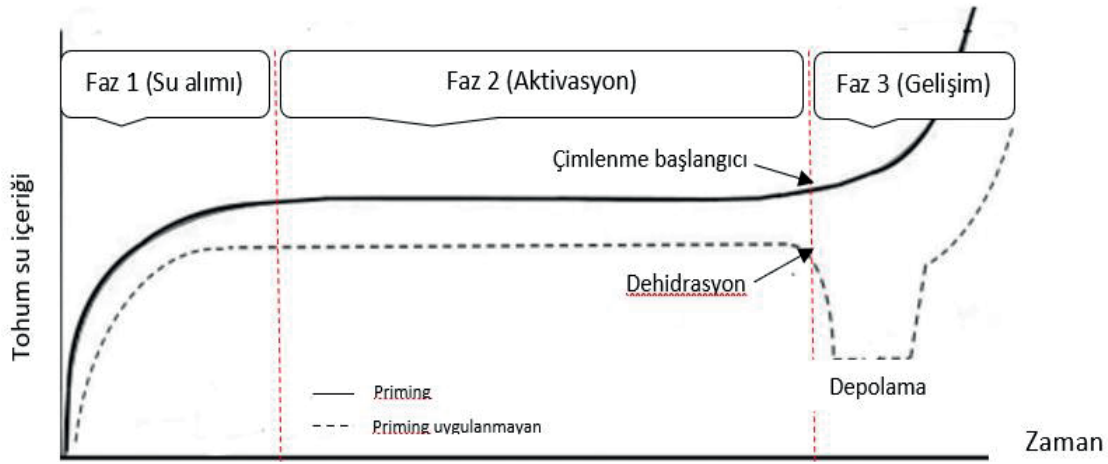
Tarımsal üretimde kuraklık stresinin azaltılması ve stres yönetimi üzerine uygulanan ve geliştirilecek yeni yöntemler hayati önem taşımaktadır. Stres yönetimi amacıyla kullanılan başlıca yöntemler; dayanıklı çeşit geliştirmek, su ve besin elementi yönetimi, mikorizal funguslar ve bitki gelişimini teşvik edici bakterilerin (Plant Growth-Promoting Bacteria, PGPB) kullanımı, ekim öncesi tohum ön uygulamaları (priming), bitki gelişim düzenleyicilerin kullanımı, organik girdiler, biyomühendislik ve biyoteknolojik yöntemlerdir (Jha ve ark., 2019; Nadeem ve ark., 2019; Sabagh ve ark., 2020). Bu yöntemlerin her biri stres yönetiminin önemli bir parçası olmasına rağmen, genellikle uzun süreç gerektirmeleri ve yüksek maliyetleri nedeniyle pratik ve sürdürülebilir bir çözüm olması noktasında ihtiyaçlara cevap verememektedir. Ancak, priming uygulamaları; stres yönetimi açısından düşük maliyetli, efektif ve kolay uygulanabilir yöntemler olmalarının yanı sıra, çevre dostu ve sürdürülebilir özellikleriyle de ön plana çıkmaktadır (Sheteiwy ve ark., 2020; Johnson ve Puthur, 2021).

Bu derleme çalışmasında, çeşitli yöntemlerle uygulanabilen priming tekniklerinin; etki mekanizmalarının anlaşılabilmesi, bitki gelişimi ve stres toleransı üzerine kullanım olanaklarının güncel literatürler ışığında değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur.

2. Priming Teknikleri ve Etki Mekanizmaları

Uluslararası literatürde “seed priming” olarak isimlendirilen teknik, Türkçe literatürde “ekim öncesi tohum ön uygulamaları” olarak kullanılmakla birlikte son dönemde “priming” olarak da ifade edilmektedir. Priming tekniği, tohumun ekim öncesinde su veya düşük ozmotik potansiyele sahip çözelti içerisinde, belirli bir süre ve sıcaklık altında bekletilerek tekrar kurutulması esasına dayanır (McDonald, 2000; Sher ve ark., 2019). En ilkel priming tekniği, tohumların ekim öncesinde suda bekletilmesi olup, “hidro-priming” olarak tanımlanmaktadır (Khalid ve ark., 2019). Bu sayede tohumda çeşitli biyokimyasal olaylar başlatılarak çimlenme süreci ile birlikte tohumda antioksidan savunma sistemleri de devreye girmektedir (Mauch-Mani ve ark., 2017). Bu nedenle priming, bitkilerde biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransı artırmanın etkili ve kolay bir yoludur. Priming uygulanmış tohumların herhangi bir uygulama yapılmamış olan tohumlara kıyasla çimlenme sürecine ilişkin diyagram Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, normal koşullar altında çimlenen tohumlarda su alımının aktivasyon süreçlerinde priming uygulanan tohumlara kıyasla daha yüksek olduğu, faz 3’e geçildiğinde çimlenme faaliyetinin duraklatıldığı görülmektedir. Bu farklılıkların temel nedeni tohumun suya göre daha düşük ozmotik potansiyele sahip olması veya yoğun bir çözelti ile muamele edilmesi ve çimlenmenin gerçekleşmesinden önce çözeltiden çıkarılarak kurutulmasıdır. Böylece tohumda çimlenme mekanizması aktive edilmesine rağmen, kökçük ve sürgün çıkışı gerçekleşmez; bu durum, ekim sonrasında priming uygulanan tohumlara avantaj sağlar.

Normal şartlar altında ekimi yapılan tohumlarda ortam nemine bağlı olarak hızlı bir şekilde su alımı gerçekleşir. Bunun nedeni, suyun düşük ozmotik potansiyele sahip olmasıdır. Suyun ozmotik potansiyeli sıfır kabul edilir ve diğer tüm çözeltilerin ozmotik potansiyeli eksi değer ile ifade edilir (Ray, 1960). Hidro-priming tekniği hariç



Şekil 1. Priming uygulanan ve uygulanmayan tohumlarda çimlenme süreci [Rajjou ve ark. (2012)'ndan uyarlanmıştır]

Figure 1. Germination process in primed and non-primed seeds, modified from Rajjou et al. (2012)

diğer priming tekniklerinde kullanılan çözeltiler düşük ozmotik potansiyele sahip materyaller olduğu için tohuma su alımı yavaş ve kontrollü bir şekilde gerçekleşir. Hidro-priming tekniğinde ise priming solüsyonu için su kullanılmakta ve buna bağlı olarak tohuma su girişi diğer tekniklere kıyasla daha hızlı gerçekleşmektedir. Ancak, priming sonrası tohumun kurutularak nem seviyesinin düşürülmesi faz 3 aşamasının priming uygulanmayan tohumlara kıyasla farklılaşmasını sağlamaktadır. Ancak, hidro-priming uygulamalarında tohumun sadece su içerisinde bekletiliyor olmasından dolayı su girişi fazla olmakta, bu durumda tohumun priming sonrasında depolanma süresi kısaltılmaktadır. Bu nedenle, hidro-priming uygulamaları sonrasında tohumlar kısa bir süre içerisinde ekilmelidir. Diğer tekniklerde ise faz 1 evresinde kontrollü ve yavaş gerçekleşen su alımı aktivasyon sürecinin başlatılmasına yol açarken, priming sonrası kurutma işlemi kökçük çıkışına engel olmaktadır. Böylece, uygun koşullar altında depo edilmeleri durumunda aktivasyon süreci başlamakta ve çimlenmeye hazır tohumların ekime hazır bir şekilde bekletilmesi imkânı doğmaktadır. Nitekim, priming uygulanan tohumların düşük sıcaklık altında 6-24 aya kadar depolanabildiği belirlenmiştir (Basra ve ark., 2003; Siregar ve ark., 2020). Hussain ve ark. (2015) priming uygulanmış çeltik tohumlarının 25 °C sıcaklıkta 15 güne kadar saklanabildiğini, daha uzun depolama süresinde priming tekniğinin pragmatik etkilerinin azaldığını, bu durumun temel sebebinin nişasta metabolizmasında meydana gelen deformasyonlar olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, tohumların -4 °C sıcaklıkta depolanması durumunda 210 güne kadar herhangi bir olumsuz etki gözlenmeksizin depolanabildiği rapor edilmiştir. Bu durumda, çimlenme süreci aktive edilmiş ancak henüz kökçük

çıkışı gerçekleşmemiş tohumların ekilmesi ile hızlı ve homojen bir çıkış elde edilmekte, aktive edilmiş antioksidan savunma sistemleri sayesinde de normal çimlenme süreci geçiren tohumlara nazaran biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı toleransı daha yüksek olmaktadır.

Priming uygulanırken tohum/solüsyon oranı sonuçlar açısından etkili bir faktördür. Uygulanan solüsyon miktarı değişkenlik göstermekle birlikte genellikle kullanılan tohum türüne, iriliğine ve uygulanan priming materyaline göre değişmektedir. Dikkat edilmesi gereken noktaların başında tohumun tamamen suya batırılmaması ve oksijen alabilmesine olanak sağlayacak kadar yüzey alanı bırakılması gelmektedir. Elkoca (2007), priming uygulamalarının başarılı olmasındaki temel faktörleri havalandırma, çözeltilerin ozmotik potansiyeli, uygulama süresi, ortam sıcaklığı ve tohum kalitesi olarak açıklamıştır. Priming uygulamalarının amacı; tohumda çimlenme dönemine ait karakterlerin iyileştirilmesi (Ceritoglu ve Erman, 2020), fide gelişiminin artırılması (Anjum ve ark., 2020), bitki gelişimin teşvik edilmesi (Rakshit ve Singh, 2018), stres faktörlerine karşı hassasiyetin azaltılması (Basavaraj ve ark., 2019) ve ürün veriminin artırılmasıdır (Kaur ve ark., 2005).

3. Priming Teknikleri ve Bu Tekniklerin Bitki Gelişimi ve Stres Toleransı Üzerine Etkileri

3.1. Hidro-priming tekniği

Hidro-priming; tohumların optimum sıcaklık koşullarında (20-24 °C), uygulanan tohum çeşidine göre değişiklik göstermekle birlikte belirli bir süre suya batırılmasını ifade eden tekniktir (Artola ve

ark., 2003). Hidro-priming uygulamasının kullanım amacı, çimlenme zorluğu görülen tohumlarda dormansi etkisinin azaltılması, sert tohum kabuğunun ön uygulama ile yumuşatılarak çıkışın kolaylaştırılması ve kuraklık gibi olumsuz çevre koşulları altında tohumun su alım etkinliğini artırarak çimlenme karakterlerinin düzenlenmesidir (Ghassemi-Golezani ve ark., 2012).

Hidro-priming tekniğinin avantajı kolay uygulanabilir ve ekonomik olmasıdır. Ancak, tohumlar tarafından alınan suyun kontrolsüz olması önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, hidro-priming tekniği kullanıldığında tohumların çimlenme riski artacağı için ekim süresinin ve ortam sıcaklığının kontrol altında tutulması gerekmektedir (Şekil 1). Hidro-priming tekniğinin diğer bir olumsuz yönü ise tohumların su alım hızlarının çeşitli faktörler nedeniyle farklılık göstermesi ve buna bağlı olarak heterojen bir çimlenme deseni sergilemesidir (Hadas ve Russo, 1974; Geisler ve ark., 2017).

Hidro-priming uygulanan tohumlarda; çimlenme hızının, çimlenme indeksinin ve çimlenme uniforme katsayısının arttığı tespit edilmiştir (Moghanibashi ve ark., 2012; Zulueta-Rodriguez ve ark., 2015; Rao ve ark., 2019; Ceritoglu ve Erman, 2020). Farooq ve ark. (2006), çeltikte (*Oryza sativa* L.) en uygun hidro-priming protokolünü belirlemek için 12, 24, 36, 48 ve 60 saat priming uyguladıkları çalışmada, 36 ve 48 saatlik uygulamaların çimlenme karakteristiği ve fide gücü üzerine en üstün performansı gösterdiğini kaydetmişlerdir. Moradi ve Younesi (2009), sorgum (*Sorghum bicolor* L.) tohumlarına 12 ve 24 saat süreyle uyguladıkları hidro-priming sonucunda ortalama çimlenme süresinin azaldığını, çimlenme hızının arttığını kaydederken; daha uzun süre uygulanması durumunda, olumsuz etkilere yol açtığını tespit etmişlerdir. Neamatollahi ve ark. (2009), kimyon (*Cuminum cyminum* L.) bitkisinde çimlenme ve fide gelişiminin iyileştirilmesi amacıyla optimum hidro-priming protokolünü geliştirmek amacıyla yürüttükleri çalışmada, 25 °C sıcaklıkta 24 saat uygulanan priming neticesinde kök ve sürgün uzunluğunun arttığını ve çimlenme yüzdesinin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Elkoca (2015), 12 saat hidro-priming uygulamasının bezelye (*Pisum sativum* L. cv. Winner)'de çimleme özellikleri üzerine en uygun priming süresi olduğunu belirtmiştir. Optimum priming süreleri arasında farklılıkların görüldüğü bu durum, optimum priming süresinin uygulanan türe göre önemli ölçüde farklılıklar ortaya koyduğunu, bu nedenle priming tekniği uygulanacak çalışmalarda bir ön çalışma yapılması veya yapılmış araştırmalardan referans alınması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Posmyk ve Janas (2007), hidro-priming uygulamalarının mısır fasulyesi (*Vigna radiata*)'nde erken fide döneminde maruz kalınan düşük sıcaklık stresi üzerine etkilerini incelemişler ve hem saf su ile hidro-priming hem de prolin ile uygulanan priming sonucunda soğuk stresinin etkilerinin hafifletildiğini rapor etmişlerdir. Kaya ve ark. (2010), hidro-priming uygulamalarının biber (*Capsicum annuum* L.)'de sıcaklık stresinin etkilerini azalttığını, enzim aktivitesini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Ghiyasi ve ark. (2014), çimlenme problemleri görülen çörek otu bitkisinde hidro-priming uygulamalarının etkisini inceledikleri çalışmalarında; tohumları önce % 100 nispi nem bulunan ortamda 96 saat bekletildikten sonra saf suda 6 saat süreyle priming uygulamışlardır. Çalışma sonucunda hidro-priming uygulamasının kontrol tohumlarına kıyasla ortalama çimlenme süresi, çimlenme indeksi, son çimlenme oranı, fide uzunluğu, fide kuru ağırlığı ve fide vigor indeksinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmiştir. Patel ve ark. (2017) hidro-priming uygulamalarının priming uygulanmayan tohumlara kıyasla çimlenme sürecine ait karakterlerin gelişmesine katkı sağladığını belirtmişlerdir. Damalas ve ark. (2019) yazlık yetiştirilen yemeklik bakla (*Vicia faba*)'da hidro-priming uygulamalarının çimlenme özelliklerini geliştirdiği, ancak etkinin çevre koşullarına göre önemli değişkenlikler gösterdiğini ifade etmişlerdir. Aynı araştırmada, hidro-priming uygulamasının özellikle ekim sonrasında kurak şartlarda etkinlik sağladığı, yağışlı bir periyodun yaşanması durumunda önemli bir etki göstermediği kaydedilmiştir. Ermiş ve ark. (2021) tuzluluk ve kuraklık stresine maruz bırakılan kabak tohumlarında hidro-priming uygulamalarının etkisini inceledikleri çalışmada, 25 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca gerçekleştirilen ön uygulamanın çimlenme yüzdesini ve fide gelişimini artırdığını belirtmişlerdir.

3.2. Ozmo-priming tekniği

En çok kullanılan priming uygulamalarından biri olan ozmo-priming, tohumların düşük su potansiyeline sahip ve kontrollü su alımını kolaylaştırıcı bir solüsyon içerisinde bekletilmesi esasına dayanır. Düşük su potansiyeline sahip ozmotik çözelti sayesinde, tohum içerisine su girişi yavaş bir şekilde gerçekleşir ve böylece kökçük çıkışı olmaksızın çimlenme metabolizması harekete geçmektedir (Mirmazloum ve ark., 2020). Tohum içerisine su alımı, artan reaktif oksijen türleri (ROS) birikimi ve hücresel bileşenlerin (nükleik asitler, lipid tabakalar, hücre mebranları, proteinler) oksidatif hasarı ile ilişkilidir (Reddy ve ark., 2004; Abid ve ark., 2018). Ozmo-priming işleminin temel amacı, su girişini yavaşlatarak ROS kaynaklı

oksidatif hasarı sınırlandırmaktır (Dhage ve Anishettar, 2020).

Ozmo-priming tekniği, kullanılan priming materyaline göre değişmekle birlikte bitkilerde stres hafızasının güçlenmesini desteklemek suretiyle stres toleransının iyileştirilmesine katkı sağlayan, kolay uygulanabilir, efektif ve sürdürülebilir bir yöntemdir (Chen ve Arora, 2013; Tabassum ve ark., 2017; Abid ve ark., 2018; Sen ve ark., 2021). Ozmo-priming tekniğinde sıkça kullanılan materyaller; polietilen glikol (PEG-6000/8000), sodyum klorür (NaCl), kalsiyum klorür (CaCl₂), magnezyum klorür (MgCl₂), poliamin, magnezyum sülfat (MnSO₄), potasyum sülfat (K₃PO₄), potasyum nitrat (KNO₃), sodyum nitrat (NaNO₃), sodyum meta silikat (Na₂SiO₃) ve manitol olarak sıralanabilir. Özellikle PEG solüsyonları ile gerçekleştirilen ozmo-priming tekniğinde yüksek viskoziteye bağlı olarak havalanma problemleri görülebildiği priming süresince aralıklarla tohum yüzeyleri hava ile temas edecek şekilde müdahale edilmelidir. Aksi takdirde priming uygulamalarının olumlu etkilerinin aksine çimlenme problemleri görülebilmektedir.

Chen ve ark. (2010), PEG-8000 ile -0.6 MPa osmotik potansiyele göre hazırlanmış ortamda 15 °C'de 8 gün uygulanan ozmo-priming neticesinde ekstrem sıcaklıklara maruz kalan ıspanak (*Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale) bitkilerinin stres toleransının arttığını, çimlenme performansının iyileştiğini tespit etmişlerdir. Kubala ve ark. (2015), PEG-6000 ile priming uygulanan kolza (*Brassica napus* L.) tohumlarında çimlenme performansının ve tuzluluk toleransının iyileştiğini ifade etmişlerdir. Mouradi ve ark. (2016), kurak koşullarda yetiştirilen yonca (*Medicago sativa* L.) bitkisinde PEG-6000 çözeltisinde uygulanan ozmo-priming ile bitki gelişiminin, yaprak yüzey alanının, bitki boyunun ve nodülasyonun arttığını gözlemlemişler; araştırmacılar ayrıca bu uygulamanın, stomaların kapatılması ve su tüketiminin azaltılmasına katkı sağladığını, fotosentez etkinliğinin artmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Tabassum ve ark. (2018), % 1.5 konsantrasyonlu CaCl₂ çözeltisi ile tohum:solüsyon oranı 1:5 g ml⁻¹ olacak şekilde 12 saat süresince uygulanan ozmo-priming ile arpa genotiplerinin kuraklığa karşı toleransının arttığını, yaprak yüzey alanı, klorofil içeriği ve tane veriminin iyileştiğini tespit etmişlerdir. Farooq ve ark. (2019), % 1 CaCl₂ ile ozmo-priming uygulamasının kuraklık stresi altında yetiştirilen mercimek (*Lens culinaris* Medik.)'te çimlenme sürecini, fide gelişimini, toplam kuru madde birikimini, klorofil yoğunluğunu ve ROS birikimini azalttığını rapor etmişlerdir. Mirmazloum ve ark. (2020), ozmo-priming uygulamalarının kimyon (*Cuminum*

cyminum L.) bitkisinde çimlenme karakteristikleri ve erken fide dönemine ait bazı özelliklerin gelişimine katkı sağladığını bildirmişlerdir. Ahmad ve ark. (2020), 0.2 MPa PEG-6000 ile uygulanan ozmo-priming ile maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.)'nde, civa klorür (HgCl₂) toksisitesine karşı direncin artırılabilmesini gözlemlemişlerdir.

Ozmo-priming uygulamalarının düşük sıcaklık stresinin azaltılmasında kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olduğu; Elkoca ve ark. (2007) nohut (*Cicer arietinum* L. cv. Aziziye-94)'ta, He ve ark. (2002) salatalık (*Cucumis sativus* L.)'ta, Cuevas ve ark. (2008) arabidopsis (*Arabidopsis thaliana*)'te, Ansari ve Zadeh (2012) çavdar (*Secale montanum*)'da, Amooaghaie ve Nikzad (2013) domates (*Solanum lycopersicum*)'te ve Hussain ve ark. (2016) çeltik (*Oryza indica*)'te yaptıkları araştırmalar ile ortaya koymuşlardır. Abid ve ark. (2018), yürüttükleri araştırmada PEG ile ozmo-priming uygulamasına bağlı olarak buğdayda stres hafızasının uyarıldığı ve gelişme periyodu boyunca karşılaşılan kuraklık stresine karşı toleransın arttığı sonucuna varmışlardır. Bu araştırmada elde edilen bilgiler doğrultusunda, -0.9 MPa osmotik potansiyele göre ayarlanmış PEG ile 18 °C sıcaklıkta 30 saat ozmo-priming uygulamasının buğday fidelelerinde fotosentetik etkinliği artırdığı, kuraklığa karşı stres toleransının arttığı, antioksidan aktivitesinin ve tane veriminin teşvik edildiği, yaprak su potansiyelinin ve osmotik dengenin stabilitesinin arttığı tespit edilmiştir. Marul (*Lactuca sativa*) fidelelerinde tuzluluğun etkisinin azaltılması amacıyla uygulanan 0.1 mmol L⁻¹ Ca₂SiO₄ ile Si-priming uygulamasında, çimlenme özellikleri, tuzluluğun zararlı etkilerinin azaltılması, stres toleransının geliştirilmesi ve ROS etkisinin azaltılmasında görevli enzim aktivitelerinin teşvik edilmesi açısından kayda değer sonuçların alındığı gözlemlenmiştir (Alves ve ark., 2020). Pereira ve ark. (2021) ise kadmiyum (Cd) toksisitesinin marul fidesi üzerine etkilerini incelemişler ve 1 mM sodyum metasilikat (Na₂O₃Si) ile 16 saat priming uygulamasının fide kuru ağırlığını kontrole göre % 33 oranında iyileştirdiği, antioksidan aktivitesini de katalaz (CAT) başta olmak üzere teşvik ettiğini rapor etmişlerdir. Hibrit bir mısır çeşidinde (Nakhon Sawan 3) kuraklık stresinin iyileştirilmesi amacıyla yürütülen diğer bir çalışmada (Sirisuntornlak ve ark., 2021), 1 mM Si ile 6 saat priming uygulandıktan sonra tohumlar 24 saat kurumaya bırakılmış, bu uygulama neticesinde; kontrol bitkilerine göre tane veriminin % 38, fotosistem-II mekanizmasının etkinliğinin % 33, elektron iletkenliğinin % 31 oranında arttığı, biriken prolin miktarının azaldığı ve toplam çözünmüş şeker oranının iyileştiği belirlenmiştir.

Özyazıcı ve Açıkbaş (2021) tuzluluk stresinin çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) tohumlarının çimlenmesi ve erken fide dönemindeki gelişimleri üzerine olumsuz etkilerde bulunduğunu in-vitro koşullarda gerçekleştirdikleri petri çalışması sonucunda ortaya koymuşlar; çalışma sonucunda, 150 mM NaCl konsantrasyonundan itibaren tohumlarda tuzluluğun yıkıcı etkilerinin ortaya çıktığını rapor etmişlerdir. Ceritoglu ve Erman (2021), mercimek (*Lens culinaris*)’te Si-priming açısından en uygun dozun 4 mM olduğunu ve kontrol bitkilerine göre çimlenme karakteristiği, fide gelişimi ve lateral kök sayısı bakımından daha etkili sonuçların ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Özyazıcı (2021) çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.)’de ve Açıkbaş ve Özyazıcı (2021a) yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus* L.)’te Si-priming uygulamalarının; çimlenme yüzdesi, çimlenme hızı, fide yaş ve kuru ağırlıkları bakımından kontrole göre daha efektif sonuçların elde edilmesine imkan sağladığını kaydetmişlerdir. Silisyum ile priming uygulamasının tuzluluk stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. *arvense* L. (Poir.)]’nde stresin azaltılmasına katkı sağladığı tespit edilmiştir (Açıkbaş ve Özyazıcı, 2021b).

3.3. Halo-priming tekniği

Halo-priming tekniği, tohumların farklı konsantrasyonlarda inorganik tuz solüsyonlarında bekletilmesine dayanır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan priming materyalleri; sodyum klorit (NaClO_2), kalsiyum sülfat (CaSO_4), KNO_3 , kalsiyum klorit (CaCl_2) ve NaCl olarak sıralanabilir (Sivritepe ve ark., 2003; Lara ve ark., 2014; Kandil ve ark., 2016; Nauairi ve ark., 2019; Ribeiro ve ark., 2019). Halo-priming tekniğini diğer priming tekniklerinden ayıran iki temel faktör bulunmaktadır. Birincisi, kullanılan halojenlerin antimikrobiyal ve insektisid özellik sergilemesi ve bu sayede depolama süresinin uzun ömürlü olmasını sağlamasıdır (Dhage ve Anishettar, 2020). Diğeri ise tuzluluk stresi altında yetiştirilen bitkilerde tuza dayanıklılığın artmasına yol açmasıdır (Khan ve ark., 2009; Ceritoglu ve Erman, 2020).

Halo-priming tekniği, çoğu bitki türünde çimlenme sürecine ait özelliklerin iyileşmesine, fide gelişim oranının artmasına, tuzluluk stresi etkilerinin azaltılmasına ve ürün veriminin artmasına katkı sağlamaktadır. Patade ve ark. (2009), tuzluluk stresi altında şeker kamışı (*Saccharum officinarum* L.) tohumlarına NaCl ile uygulanan halo-priming sonucunda çimlenme yüzdesinin arttığını, 2 aylık gelişim periyodu sonunda kök ve fide gelişiminin kontrol grubuna göre olumlu etkilendiğini kaydetmişlerdir. Nawaz

ve ark. (2011), farklı dozlarda NaCl ve KNO_3 ile halo-priming uygulamalarının domates tohumlarının çimlenmesi, fide gelişimi ve biyokimyasal tepkileri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, 25 mM KNO_3 solüsyonunda 24 saat bekletilen domates tohumlarında çimlenme yüzdesinin arttığı, ortalama çıkış süresinin % 50 azaldığı ve fide gelişim parametrelerinin olumlu yönde etkilendiği kaydedilmiştir. Sivritepe ve Şentürk (2011), halo-priming uygulamalarının biber (*Capsicum annum*) tohumlarının çimlenmesi üzerine olumlu etkiler gösterdiğini, priming sonrası tohumların kurutulmasının daha verimli sonuçlara imkân sağladığını kaydetmişlerdir. Batool ve ark. (2015), farklı konsantrasyonlardaki tuzlarla halo-priming uyguladıkları lahana (*Brassica oleracea* var. *capitata*) tohumlarında, kullanılan priming materyalleri içerisinde bakır sülfat (CuSO_4) dışındaki tüm uygulamaların çimlenme yüzdesini, çimlenme gücünü, fide kuru ve yaş ağırlığını arttırdığını, ortalama çimlenme süresini kısalttığını rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada araştırmacılar, CuSO_4 ’ın inhibitör etkide bulunma sebebinin bünyesinde bulunan ağır metalden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Robledo (2020), 25 mM KNO_3 ile halo-priming uygulamasının biber (*Capsicum frutescens*)’de çimlenme yüzdesi, çimlenme indeksi, kök ve sürgün uzunluğu, kök ve sürgün ağırlıklarını artırdığını; fakat, NaCl ile uygulanan priming neticesinde bazı özelliklerin etkilenmediğini veya olumsuz etkilendiğini kaydetmiştir. Tania ve ark. (2020), bamya (*Abelmoschus esculentus* L.) tohumlarına uygulanan halo-priming ile tohumların çimlenme ve verim özelliklerinin geliştiğini gözlemlemişlerdir.

Halo-priming tekniğinin, bitkilerde stres faktörlerine karşı dayanıklılığı artırıcı ve bitki gelişimini teşvik edici özellikler sergilemesinin, enzim faaliyetleri üzerine olumlu etkiler göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Singh ve ark. (1999), KNO_3 solüsyonunda bekletilen kavun tohumlarında düşük sıcaklık koşulları altında dehidrogenz ve α -amilaz aktivitesinin arttığını gözlemlemişlerdir. Vaktabhai ve Kumar (2017), serbest radikallerin etkisini azaltan enzimlerin (katalaz, amilaz, peroksidaz, süperoksit dismutaz vs.) priming uygulamalarına bağlı olarak artış gösterdiğini, böylece stres koşullarına dayanıklılığın iyileştiğini kaydetmişlerdir.

Diğer bir önemli nokta ise enzimlerin embriyo ve endospermelerde yer alan depo maddelerinin (karbonhidratlar, proteinler, aminoasitler, organik asitler vs.) mobilizasyonunda önemli rol oynamasıdır. Halo-priming uygulamalarına bağlı

olarak artan enzim aktivitelerinin çimlenme süreci ve fide gelişimi üzerine olumlu etkiler gösterdiği ifade edilmektedir (Paparella ve ark., 2015).

3.4. Katı matriks priming tekniği

Katı matriks priming (KMP), tohumların belirlenen bir oranda katı bir taşıyıcı malzeme ve düşük miktarda su ile karıştırılmasıyla gerçekleştirilen bir tekniktir. KMP, osmotik substratların yüksek maliyeti ve havalandırma yaşanan teknik problemler nedeniyle ozmo-priming tekniğine bir alternatif olarak geliştirilmiştir (Paparella ve ark., 2015). Çözünmez katı ortam içerisinde bekletilen tohumlar, belirli bir seviyeye kadar yavaşça su alımı gerçekleştirir ve bu durum topraktaki çimlenme sürecine büyük oranda benzerlik gösterir.

KMP tekniğinde kullanılacak materyallerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususları Raj ve Raj (2019) şu şekilde sıralamışlardır: i) su tutma kapasitesi yüksek olmalı, ii) düşük matriks potansiyeli sahip olmalı, iii) su içerisinde çözünabilirliği çok düşük olmalı, iv) geniş bir yüzey alanına sahip olmalı, v) tohumlara toksik etki göstermemeli, vi) tohum yüzeyine kolayca yapışabilen/tutunabilen bir yapıda olmalıdır. Bu yöntemde yaygın olarak; leonardit, vermikulit, genişletilmiş kalsine kil, sentetik kalsiyum silikatlar, vermikompost gibi materyaller kullanılmaktadır (Taylor ve ark., 1988; Ermiş ve ark., 2016; Çelik ve Kenanoğlu, 2020; Muhie ve ark., 2020). Kullanılan katı materyallerin su tutma kapasitesi ve yoğunluğu büyük ölçüde farklılık gösterir (Khan, 1992). Bu nedenle, KMP uygulamalarında kullanılan substrat maddeye göre karışımda kullanılacak su miktarına dikkat edilmelidir.

Wu ve ark. (2017), vermikulit + *Trichoderma harzianum* toz karışımı ile uygulanan KMP tekniğinin patlıcanda çimlenme, fide çıkışı ve fotosentez aktivitesini iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Ozden ve ark. (2018), oksijen ile zenginleştirilmiş vermikulit priming uygulamalarının pırasa (*Allium ampeloprasum* L.)’da çimlenme karakterlerini ve katalaz aktivitesini olumlu etkilediğini belirtmişlerdir. Wu ve ark. (2019), vermikulit priming uygulamalarının brokoli ve karnabahar bitkilerinde tuzluluk stresinin azalmasına, çimlenme ve fide gelişiminin teşvik edilmesine imkân sağladığını bildirmişlerdir. Sen ve ark. (2020), normal ve nano parçacık yapılı kitosan (kitin türevi, kolay çözünabilir ve toksik etkisi olmayan organik bir materyal) ile maş fasulyesi tohumlarına uygulanan KMP tekniğinin antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonunu teşvik etmek suretiyle tuzluluk stresine karşı toleransın artırılmasına yardımcı olduğunu

gözlemlemişlerdir. Muhie ve ark. (2020), soğan (*Allium cepa* L.) tohumlarına uygulanan vermikompost priming uygulamalarının kuraklık, sıcaklık ve tuzluluk stresi altında çimlenme ve fide gelişimini olumlu yönde etkilediği, katalaz, süperoksit dismutaz ve askorbat peroksidaz enzim aktivitelerini artırdığını bildirmişlerdir.

3.5. Hormonal priming tekniği

Bitkisel hormonlar (fitohormonlar), bitkide çeşitli gelişim süreçlerini farklı açılardan etkilemek amacıyla sinyal gönderen küçük yapılu bileşiklerdir (Costacurta ve Vanderleyden, 1995). Bazen sadece bir fitohormon birkaç hücrel ve metabolik süreci etkileyebilirken, bazı durumlarda birkaç hormon birlikte etki göstererek bir süreci yönetebilir (Gray, 2004). Ayrıca, fitohormonlar bitkileri biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı destekler ve yönlendirir (Xu ve ark., 2016). Bu nedenle, fitohormonların bitki bünyesinde bulunması, çimlenmeden olgunluğa kadar gelişen her süreçte kritik bir öneme sahiptir. Hormonal priming tekniğinde tohumlar ön uygulama olarak farklı hormonların (oksin, giberellin, sitokinin, salisilik asit vs.) çeşitli konsantrasyonlarda hazırlanan solüsyonlarında bekletilir. Hormonal priming uygulaması, diğer priming uygulamalarında olduğu gibi çimlenme sürecini kökçük çıkışı olmaksızın başlatırken, savunma sistemlerini aktive etmektedir (Syta ve ark., 2019).

Yapılan araştırmalar biyotik ve abiyotik stres etkisine maruz kalan bitkilerde hormonal priming uygulamalarının olumlu sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Ulfat ve ark. (2017), salisilik asit (SA) ve giberellik asit (GA) ile uygulanan hormonal priming tekniğinin buğdayda kuraklık stresinin azaltılmasına katkı sağladığını, tane veriminin artmasına neden olduğunu tespit etmişlerdir. Akar ve Atış (2019), Cd ve nikel toksisitesine maruz kalan kırmızı yumak bitkisinde % 2’lik KNO₃ ve 500 ppm GA₃ ile 48 saat priming uygulamışlardır. Bu çalışmada, KNO₃ ile priming uygulamasının toksisiteye bağlı stres üzerine bir etkide bulunmadığı, GA₃’ün ise düşük konsantrasyonlarda etki göstermesine rağmen artan dozlarda etkisiz kaldığı tespit edilmiş olup kırmızı yumak tarımında ağır metal toksisitesi açısından uygun bir yöntem olmadığı ifade edilmiştir. Ceritoglu ve Erman (2020), SA priming uygulamalarının nohut (*Cicer arietinum* L.)’un tuzluluk stresinin azaltılmasında etkili, kolay uygulanabilir ve ekonomik bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Kohli ve ark. (2018), SA ve 2-4-epibrassinolid ile priming uygulamalarının ağır metal stresine maruz kalmış hardal (*Brassica juncea* L.) bitkisinde tolerans indeksinin artmasına, antioksidatif savunma sistemleri aktivitesinin iyileşmesine ve ozmolit içeriğinin düzenlenmesine

katkı sağladığını gözlemlemişlerdir. Shinwari ve ark. (2015), krom stresi altındaki çeltik (*Oryza sativa* L.)'in SA priming uygulamalarına bağlı olarak morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve metabolik aktivitelerinin iyileştiğini rapor etmişlerdir. Galhaut ve ark. (2001), GA priming ile ak üçgül (*Trifolium repens* L.) bitkisinde ağır metal kontaminasyonu sonucu ortaya çıkan semptomların iyileşme eğilimi gösterdiğini bildirmişlerdir. Shariatmadari ve ark. (2017), nohutta GA priming uygulamalarının kuraklık stresinin azaltılmasına katkı sağladığını, en etkili priming kuantumunun 150 ppm olduğunu rapor etmişlerdir. Mangena (2020), soya [*Glycine max* (L) Merrill] yetiştiriciliğinde kuraklık etkisinin azaltılmasında ve bitki gelişiminin teşvik edilmesinde 4.87 mg L⁻¹ benziladenin ile priming uygulamalarının ümit var sonuçlar ortaya koyduğunu gözlemlemiştir. Madany ve ark. (2020), domates (*Lycopersicon esculentum* Mill)'te canavarotu (*Orobanche ramosa* L.) enfeksiyonuna karşı direnç oluşturulması noktasında indol asetik asit (IAA) ve SA priming uygulamalarının kullanılabilir bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Iqbal ve ark. (2020), geç ekimlerde sıcaklık stresine maruz kalan mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde hormonol priming uygulamalarının stres indeksini azaltıcı etki gösterdiğini belirtmişlerdir. Ghasemi ve ark. (2021), Johnson ve Puthur (2021) ve Rhaman ve ark. (2021) çeşitli fitohormonlar ile uygulanan hormonal priming tekniğinin abiyotik stres faktörlerine karşı toleransın artmasına katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Mokhtari ve Kizilgeci (2021), melez sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench. x *Sorghum sudanense* Staph.) tohumlarında çeşitli kimyasallarla uyguladıkları hormonal priming muamelelerinin çimlenme özellikleri ve alfa-amilaz enzimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar putresin (4 ppm), KNO₃ (25 ppm) ve jasmonik asit uygulamalarının (1 ppm) en iyi sonuçları ortaya koduğunu kaydetmişlerdir.

3.6. Nano-priming tekniği

Biyomedikal ve endüstri sektörlerinden sonra nano-parçacıkların tarımda kullanımı giderek yaygınlaşmış ve sürdürülebilir tarım anlayışında devrim niteliğinde yeni yaklaşımlara yol açmıştır (Fraceto ve ark., 2016). Nano ölçekli parçacıkların eşsiz özellikleri, sürdürülebilir tarım anlayışını destekleyen yeni materyal ve tekniklerin oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Yabancı otlara seçici etkide bulunan nano-herbisitler, patojenler üzerine etkili nano-pestisitler, toprakta noksanlığına göre sulama ve gübreleme yönetimine imkân veren nano-gübrelerin kullanımı hızla yaygınlaşmakta, geleneksel pestisit ve gübrelere

nazaran daha üstün bir etki göstermekte, böylece gereğinden fazla kimyasal girdiyi önlemek suretiyle çevre kirliliğini azaltıcı bir yaklaşım sergilemektedir (Singh ve ark., 2017; Qureshi ve ark., 2018). Nano gübreleri önemli kılan faktörlerin başında makro ve mikro besin elementlerinden bir ya da birkaç tanesini bünyelerinde bulundurmaları ve az miktarda kullanılmak suretiyle çevre dostu olmalarıdır (Dağhan, 2017). Fakat nano gübreler çok yoğun parçacıklardan oluşması nedeniyle yüksek dozda uygulanmaları durumunda bitki büyümesini ve ürün verimini azaltıcı etki göstermelerinin yanında doğrudan temas edilmesi durumunda insan sağlığına zarar verici etkiler gösterebilmektedir (Mohammed, 2021). Güncel gelişmeleri takiben, nano parçacıkların doğrudan gübreleme amaçlı kullanımına ek olarak priming materyali olarak kullanılması ile birlikte nano-priming tekniği ortaya çıkmıştır.

Nano-parçacıklar, küçük yüzey alanları ve eşsiz fizikokimyasal yapıları sayesinde priming uygulamalarında efektif bir yaklaşım sunmaktadır (Dasgupta ve ark., 2017). Maroufi ve ark. (2011), titanyum dioksit (TiO₂) ile nano-priming uygulamalarının maş fasulyesi (*Vigna radiata* L.)'nde çimlenme süreci üzerine olumlu etkiler yaptığını tespit etmişlerdir. Prasad ve ark. (2012), çinko oksit (ZnO) ile nano-priming uygulamalarının yerfistğinde çimlenme, bitki gelişimi ve ürün verimini artırdığını bildirmişlerdir. Adhikari ve ark. (2013), silisyum dioksit (SiO₂) ile nano-priming uygulamalarının çeltik (*Oryza sativa* L.)'te kök uzunluğu, toplam yüzey alanı ve kuru madde ağırlığını artırdığını gözlemlemişlerdir. Valadkhan ve ark. (2015), demir (Fe) nano-parçacıkları ile priming uygulamalarının nohutta bakla sayısı, 100-tane ağırlığı ve toplam verimi artırıcı etki yaptığını tespit etmişlerdir. Upadhyaya ve ark. (2017), kalsiyum fosfat nano-parçacıkları ile gerçekleştirilen priming uygulamalarının çeltik (*Oriza sativa* L.)'te fide gelişimini ve antioksidan savunma sistemlerinde görev alan enzim aktivitelerini teşvik ettiğini rapor etmişlerdir. Mahakham ve ark. (2017), çimlenme gücü zayıflayan çeltik (*Oryza sativa* L.) tohumlarının çimlenme özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla gümüş nano-parçacıkları ile uyguladıkları nano-priming ile çimlenme ve nişasta metabolizması faaliyetlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Khalaki ve ark. (2021), nano-parçacıkların küçük yüzey alanı ve eşsiz biyokimyasal özellikleri sayesinde priming materyali olarak kullanılmalarının, bitkilerde çimlenmeden verime kadar olan tüm süreçler üzerinde olumlu etkiler gösterdiğini, buna ek olarak stres etmenlerine karşı toleransı artırmak noktasında etkili bir yöntem olarak göze çarptığını belirtmişlerdir.

3.7. Biyo-priming tekniği

Biyolojik priming veya biyo-priming, tohumun su alımı ve faydalı mikroorganizmalar ile inokulasyon işleminin entegre bir şekilde gerçekleştirildiği kısmen yeni bir tekniktir (Callan ve ark., 1990; Reddy, 2012; Prajapati ve ark., 2020). Bu teknikte, bakteri solüsyonların belirlenen bir konsantrasyon ve süreye bağlı olarak tohumun uygulanması sağlanır. Çeşitli araştırmacılar biyo-priming uygulamalarında priming süresinin sonuçlar üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymuşlardır (Yari ve ark., 2010; Soughir ve ark., 2012; Musa ve ark., 2014; Ceritoglu ve ark., 2021). Biyo-priming tekniğinde tohum tarafından üretilen salgılar biyo-kontrol ajanları için değerli bir besin ve enerji kaynağı oluşturarak faydalı mikroorganizmaların tohum yüzeyinde çoğalmasını ve kolonize olmasını sağlar. Bu durum, tohumun su ve besin elementi alımını da olumlu yönde etkilemektedir (Wright ve ark., 2003). Biyo-priming tekniğinin diğer priming uygulamalarına kıyasla üstün olan özelliği, hem çimlenme hızı ve uniformitesi üzerine daha yoğun bir etki göstermesi hem de toprak ve tohum kökenli patojenlerin baskılanmasına destek olmasıdır (Reddy, 2012).

Giderek daha büyük bir önem kazanan ve kullanımı yaygınlaşan biyo-priming tekniğini ön plana çıkaran temel faktör, tarımda PGPB kullanımının yaygınlaşması ve çeşitli kısıtlayıcı ve baskılayıcı şartlara adapte olabilmeleridir (Deshmukh ve ark., 2020; Glick, 2020). Biyo-priming tekniğinde yaygın olarak kullanılan bakteriler *Trichoderma*, *Enterobacter*, *Pseudomonas* ve *Bacillus* cinslerine ait türlerdir (Waller ve ark., 2005; Paparella ve ark., 2015). Diğer priming yöntemlerinin abiyotik stres faktörlerine karşı direnci artırdığı ispatlanmış olmasına rağmen biyo-priming uygulamalarının buna ek olarak biyotik stres faktörlerine karşı da iyi bir mücadele yöntemi olduğu belirtilmektedir (Stanley ve ark., 2016). Muller ve Berg (2008), biyo-priming tekniğinin hastalık etmenleri ile mücadelede tohum pelletleme ve kaplama tekniklerine kıyasla daha etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Biyo-priming uygulamalarında solüsyona çeşitli sekonder metabolitlerin ve fitohormonların karıştırılması da faydalı sonuçlar ortaya koyan bir uygulamadır (Hamayun ve ark., 2010; Soliman ve ark., 2020; Afzal ve ark., 2021). Fitohormonların gelişme süreçleri üzerindeki kontrol ve aktivasyon özellikleri (biyokimyasal süreçlerin kontrolü, antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu vs.) priming ile uygulanarak, sistemlerin uyarılmasını, çimlenme süreci ile birlikte etkin bir çalışma sisteminin başlatılmasını sağlamaktadır (Radhakrishnan ve ark., 2013). Biyo-priming

tekniği uygulanan tohumların herhangi bir uygulama yapılmayan tohumlara göre stres etkisi altında üstün performans sergilemesini sağlayan en önemli sebeplerden birisi de sahip olduğu yüksek miktarda karbonhidrat rezervidir. Bu nedenle, aşırı nem etkisi altında düşük oksijen konsantrasyonuna maruz kalan bitkilerde priming uygulanmasına bağlı olarak tohumun canlılık süresi ve direnci artmaktadır (Ella ve ark., 2011). PGPB ile biyo-priming uygulamalarının biyolojik gübre (azot bağlayıcı, fosfat ve potasyum çözücü), biyoajan (hastalık etmenlerinin baskı altına alınması), stres faktörlerine karşı direncin artırılması (kuraklık, sıcaklık, tuzluluk, ağır metal, iyon toksisitesi vs.) ve bitki gelişimini teşvik edici birtakım özellikleri sebebiyle giderek yaygınlaşan bir uygulamadır (Ekin ve ark., 2009; Çakmakçı ve ark., 2010; Erman ve ark., 2010; Glick, 2020; Soysal ve ark., 2020).

Nawaz ve ark. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, *Pseudomonas fluorescens*+*Rhizobium phaseoli* bakterilerinin karışımından oluşan bir solüsyon ile gerçekleştirilecek biyo-priming uygulamasından önce tohumlara hidropriming uygulayıp kurutulmuş, sonrasında elde edilen bakteri solüsyonunu tohum:solüsyon oranı 1:5 olacak şekilde uygulamışlardır. Araştırmacılar; kuraklık stresi altında yetiştirilen maş fasulyesi tohumlarında biyo-priming tekniğinin tohumda çimlenme karakterlerini iyileştirdiğini, besin maddesi alımını ve tane verimini artırdığını, maksimum stres koşullarında dahi savunma sistemlerini aktive ederek direnci artırdığını tespit etmişlerdir. Paul ve Rakshit (2021), *Trichoderma viride* türüne ait bir bakteri suşu ile yaptıkları biyo-priming uygulamasının soya (*Glycine max*) bitkilerinin rizosferindeki fosfat bileşiklerinin çözünürlüğünü ve bitkiler tarafından alımını artırdığını belirtmişlerdir. Peixoto da Silva ve ark. (2021), organik tarımda biyo-priming uygulamalarının kullanılma olanaklarını araştırdıkları çalışmada, *Ascophyllum nodosum* bakterisine 125 ppm konsantrasyonda hazırlanan solüsyon ile yapılan biyo-priming uygulamalarının domateste kök ve sürgün gelişimini teşvik ettiğini, ancak çimlenme özellikleri üzerine etkide bulunmadığını bildirmişlerdir. Aynı çalışmada, uygulanan 125 ppm *A. nodosum* ile biyo-priming sonucunda tatlı biber tohumlarında hem çimlenme ve hem de fide gelişimini teşvik ettiği kaydedilmiş; teşvik edici etkilerin *A. nodosum*'un bünyesinde bulundurduğu absisik asit (ABA), oksin ve giberellin (GA) hormonlarından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Chua ve ark. (2019), *Cyanobacteria* türlerinin biyo-priming materyali olarak kullanılmasının maden alanlarının bulunduğu kurak bölgelerdeki toprak özelliklerini ve bu bölgedeki doğal bitki örtüsünün gelişimini

olumlu yönde etkilediğini rapor etmişlerdir. Forti ve ark. (2020), *Bacillus* cinsi bakterilerin biyo-primer olarak kullanımının *Medicago truncatula* tohumlarında çimlenme yüzdesi, fide uzunluğu ve toplam biyomas özelliklerini geliştirdiği, DNA hasarının iyileştirilmesini sağlayan genlerin aktivasyonuna katkı sağladığını ve antioksidan savunma sistemlerinin faaliyetinin arttığını belirtmişlerdir. Singh ve ark. (2020), endofitik *Pseudomonas geniculata* cinsine ait suşlar ile yapılan priming uygulamalarının mısırdaki tuzluluk stresine karşı gösterilen biyokimyasal toleransı arttırdığını bildirmişlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Priming teknikleri çimlenme sürecinde etkili olan enzimleri ve antioksidan savunma sistemlerini aktive ederek çimlenmeden olgunluğa kadar geçen sürede olumlu etkiler göstermekte, çevresel stres faktörlerine karşı toleransı artırmaktadır. Tekniğin kolay uygulanabilir, ekonomik ve efektif bir yöntem olmasının yanında, kimyasal girdilerin azaltılmasına katkı sağlama potansiyeline sahip olması, tarımda sürdürülebilir hedeflere ulaşmak noktasında önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir. Özellikle biyo-priming ve nano-priming uygulamaları üzerine çalışmaların ilerletilmesi ve sürdürülebilir tarımda kullanımlarının artırılması gerekmektedir. Bu hedefin başarıya ulaşabilmesi için üstün özelliklere sahip PGPB suşlarının elde edilmesi ve stabilitesinin sağlanması öncelikli hedefler arasında tutulmalıdır. Böylece hem biyolojik gübre hem de etkili bir biyo-ajan niteliği taşıyan bakteriler ile biyo-priming uygulanan tohumların kullanımı yaygınlaştırılabilir. Son dönemde, biyo-priming tekniği ile tohum kaplama teknolojisinin birleştirilmesi noktasında geliştirilen çalışmalar, bu beklentilerin haklılığını desteklemekte ve kısa süre içerisinde tarımda yeni bir devrin başlamasının sinyallerini vermektedir. Bunlara ek olarak, priming uygulanan tohumların pragmatik etkilerini kaybetmeden depolama sürelerini artıracak çalışmaların yürütülmesi en önemli konulardan biridir.

Kaynaklar

- Abid, M., Hakeem, A., Shao, Y., Liu, Y., Zahoor, R., Fan, Y., Suyu, J., Ata-Ul-Karim, S.T., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J.L., Dai, T., 2018. Seed osmopriming invokes stress memory against post-germinative drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 145: 12-20.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., 2021a. Yaygın mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) tohumlarına silisyum ön uygulamasının çimlenme üzerine etkileri. *3rd International African Conference on Current Studies*, 27-28 February, Abomey-Calavi, Benin, pp. 404-412.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., 2021b. Silisyum tohum ön uygulamasının tuz stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. arvense L. (Poir.)]'nin çimlenme gelişimine etkisi. *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V*, 27-28 March, Ankara, pp. 148-158.
- Adhikari, T., Kundu, S., Rao, A.S., 2013. Impact of SiO₂ and Mo nano particles on seed germination of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4(8): 809-816.
- Afzal, S., Sharma, D., Singh, N.K., 2021. Eco-friendly synthesis of phytochemical-capped iron oxide nanoparticles as nano-priming agent for boosting seed germination in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 40275-40287.
- Ahmad, I., Ullah, S., Nafees, M., 2020. Effect of osmopriming and thermopriming on amelioration of mercuric chloride stress tolerance in mungbean (*Vigna radiata* L.). *Plant Physiology Reports*, 25: 516-528.
- Akar, M., Atış, İ., 2019. Priming uygulamalarının kadmiyum ve nikel stresine maruz bırakılan kırmızı yumağın çimlenme ve fide gelişimi üzerine etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 26-36.
- Alves, R.C., Nicolau, M.C.M., Checchio, M.V., Junior, G.S.S., de Oliveira, F.A., Predo, R.M., Gratao, P.L., 2020. Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. *SciELO-Brasil*, 79(1): 19-29.
- Amooaghaie, R., Nikzad, K., 2013. The role of nitric oxide in priming-induced low-temperature tolerance in two genotypes of tomato. *Seed Science Research*, 23(2): 123-131.
- Anjum, M.Z., Hayat, S., Ghazanfar, M.U., Ahmad, S., Adnan, M., Hussain, I., 2020. Does seed priming with *Trichoderma* isolates have any impact on germination and seedling vigor of wheat. *International Journal of Botany Studies*, 5(2): 65-68.
- Ansari, O., Zadeh, F.S., 2012. Osmo and hydro priming mediated germination improvement under cold stress conditions in mountain rye (*Secale montanum*). *Cercetări Agronomice în Moldova*, 45(3): 53-62.
- Artola, A., Carrilo-Castaneda, G., de los Santos, G.G., 2003. Hydropriming: A strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. *Seed Science and Technology*, 31(2): 455-463.
- Basavaraj, G.L., Murali, M., Lavanya, S.N., Amruthesh, K.N., 2019. Seed priming with biotic agents invokes defense response and enhances plant growth in pearl millet upon infection with *Magnaporthe grisea*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21: 101279.
- Basra, S.M.A., Ullah, E., Warraich, E.A., Cheema, M.A., Afzal, I., 2003. Effect of storage on growth and yield

- of primed canola (*Brassica napus*) seeds. *International Journal of Agriculture and Biology*, 5(2): 117-120.
- Batool, A., Ziaf, K., Amjad, M., 2015. Effect of halo-priming on germination and vigor index of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, 2(7): 1-8.
- Callan, N.W., Mathre, D.E., Miller, J.B., 1990. Bio-priming seed treatment for biological control of *Pythium ultimum* preemergence damping-off in sh-2 sweet corn. *Plant Disease*, 74: 368-372.
- Ceritoglu, M., Çiğ, F., Erman, M., 2021. Determination of protocol for optimum PGPR-priming duration in lentil. *Abstract Book of the 5th Symposium on EuroAsian Biodiversity*, 1-3 July, Almaty, Kazakhstan, p. 190.
- Ceritoglu, M., Erman, M., 2020. Mitigation of salinity stress on chickpea germination by salicylic acid priming. *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, 6(3): 582-591.
- Ceritoglu, M., Erman, M., 2021. Effect of silicon priming treatments on germination and some agronomic traits in lentil. *3rd International African Conference on Current Studies*, 27-28 February, Abomey-Calavi, Benin, pp. 436-444.
- Chen, K., Arora, R., 2013. Priming memory invokes seed stress-tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 94: 33-45.
- Chen, K., Arora, R., Arora, U., 2010. Osmopriming of spinach (*Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale) seeds and germination performance under temperature and water stress. *Seed Science and Technology*, 38(1): 36-48.
- Chua, M., Erickson, T.E., Merritt, D.J., Chilton, A.M., Ooi, C.M.K.J., Munoz-Rojas, M., 2019. Bio-priming seeds with cyanobacteria: effects on native plant growth and soil properties. *Restoration Ecology*, 28(52): 168-176.
- Costacurta, A., Vanderleyden, J., 1995. Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria. *Critical Reviews in Microbiology*, 21(1): 1-18.
- Cuevas, J.C., Lopez-Cobollo, R., Alcazar, R., Zarza, X., Koncz, C., Altabella, T., Salinas, J., Tiburcio, A.F., Ferrando, A., 2008. Putrescine is involved in *Arabidopsis* freezing tolerance and cold acclimation by regulating abscisic acid levels in response to low temperature. *Plant Physiology*, 148(2): 1094-1105.
- Çakmakçı, R., Erman, M., Kotan, R., Çiğ, F., Karagöz, K., Sezen, M., 2010. Growth promotion and yield enhancement of sugar beet and wheat by application of plant growth-promoting rhizobacteria. In: *Proceedings of the International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems*, 3-7 February, Famagusta, pp. 204-208.
- Çelik, Y., Kenanoğlu, B.B., 2020. Priming uygulamalarının farklı gelişim dönemlerindeki patlıcan tohumlarının canlılık ve kalitesi üzerine etkisi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(2): 348-369.
- Dağhan, H., 2017. Nano gübreler. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 4(2): 197-203.
- Damalas, C.A., Koutroubas, S.D., Fotiadis, S., 2019. Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture*, 9(9): 201.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., Ramalingam, C., 2017. Applications of nanotechnology in agriculture and water quality management. *Environmental Chemistry Letters*, 15(4): 591-605.
- Deshmukh, A.J., Jaiman, R.S., Bambharolia, R.P., Patil, V.A., 2020. Seed biopriming-A review. *International Journal of Economic Plants*, 7(1): 38-43.
- Dhage, S.S., Anishettar, S., 2020. Seed priming: An approach to enhance weed competitiveness and productivity in aerobic rice: A review. *Agricultural Reviews*, 41(2): 179-182.
- Ekin, Z., Oğuz, F., Erman, M., Ögün, E., 2009. The effect of *Bacillus* sp. OSU-142 inoculation at various levels of nitrogen fertilization on growth, tuber distribution and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 8(18): 4418-4424.
- Elkoca, E., 2007. Priming: Ekim öncesi tohum uygulamaları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38(1): 113-120.
- Elkoca, E., 2015. Osmo- and hydropriming enhance germination rate and reduce thermal time requirement of pea (*Pisum sativum* L. cv. Winner) seeds. *Akademik Ziraat Dergisi*, 3(1): 1-12.
- Elkoca, E., Haliloglu, K., Esitken, A., Ercisli, S., 2007. Hydro- and osmopriming improve chickpea germination. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 57: 193-200.
- Ella, E.S., Dionisio-Sese, M.L., Ismail, A.M., 2011. Seed pre-treatment in rice reduces damage, enhances carbohydrate mobilization and improves emergence and seedling establishment under flooded conditions. *AoB Plants*, 2011: plr007.
- Erman, M., Kotan, R., Çakmakçı, R., Çiğ, F., Karagöz, K., Sezen, M., 2010. Van Gölü havzasından izole edilen azot fikseri ve fosfat çözücü bakterilerin buğday ve şeker pancarında büyüme ve verim özellikleri üzerine etkiler. *Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 28 Haziran-1 Temmuz, Erzurum, s. 326-330.
- Ermiş, S., Kara, F., Özden, E., Demir, I., 2016. Solid matrix priming of cabbage seed lots: Repair of ageing and increasing seed quality. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 22: 588-595.
- Ermiş, S., Öktem, G., Gökdaş, Z., Demir, İ., 2021. Hydro-priming increases seed germination and early seedling growth in three cucurbit rootstock cultivars under salt and osmotic stresses. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2(1): 1-5.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Afzal, I., Khaliq, A., 2006. Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Science and Technology*, 34(2): 507-512.
- Farooq, M., Romdhane, L., AL Sulti, M.K.R.A., Rehman, A., Al-Busaidi, W.M., Lee, D.J., 2019. Morphological, physiological and biochemical aspects of osmopriming-induced drought tolerance in

- lentil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(2): 176-186.
- Forti, C., Shankar, A., Singh, A., Balestrazzi, A., Prasad, V., Macovei, A., 2020. Hydropriming and biopriming improve *Medicago truncatula* seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes*, 11(3): 242.
- Fraceto, L.F., Grillo, R., De Medeiros, G.A., Scognamiglio, V., Rea, G., Bartolucci, C., 2016. Nanotechnology in agriculture: Which innovation potential does it have? *Frontiers in Environmental Science*, 4: 20.
- Galhaut, L., Lespinay, A., Walker, D., Bernal, M.P., Correal, E., Lutts S., 2001. Seed priming of *Trifolium repens* L. improved germination and early seedling growth on heavy metal-contaminated soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(4): 1905.
- Geisler, G.E., Pinto, T.T., Santos, M., Paulilo, M.T.S., 2017. Seed structures in water uptake, dormancy release, and germination of two tropical forest Fabaceae species with physically dormant seeds. *Brazilian Journal of Botany*, 40(1): 67-77.
- Ghasemi, N., Omid, H., Bostani, A., 2021. Morphological properties of *Catharanthus roseus* L. seedlings affected by priming techniques under natural salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40: 550-557.
- Ghassemi-Golezani, K., Hosseinzadeh-Mahootchy, A., Zehtab-Salmasi, S., Turchi, M., 2012. Improving field performance of aged chickpea seeds by hydropriming under water stress. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 2(2): 168-176.
- Ghiyasi, M., Amirnia, R., Tajbakhsh, M., Danesh, Y.R., Najafi, S., 2014. Çörekotu tohumu üzerine ekimden önce uygulanan hardning ve hidropriming'in çimlenme indekslerine olan etkisi. *Türkiye 5. Uluslararası Katılımlı Tohumculuk Kongresi*, 19-23 Ekim, Diyarbakır, s. 475-477.
- Glick, B.R., 2020. Beneficial Plant-Bacterial Interactions (2nd Edn). Springer Nature Switzerland, Cham.
- Gray, W.M., 2004. Hormonal regulation of plant growth and development. *PLoS Biology*, 2: e311.
- Hadas, A., Russo, D., 1974. Water uptake by seeds as affected by water stress, capillary conductivity, and seed-soil water contact, I. experimental study. *Agronomy Journal*, 66(5): 643-647.
- Hamayun, M., Khan, S.A., Khan, A.L., Tang, D.S., Hussain, J., Ahmad, B., Anwar, Y., Lee, I.J., 2010. Growth promotion of cucumber by pure cultures of gibberellin-producing *Phoma* sp. GAH7. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26: 889-894.
- He, L., Nada, K., Tachibana, S., 2002. Effects of spermidine pretreatment through the roots on growth and photosynthesis of chilled cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 71(2): 490-498.
- Hussain, S., Khan, F., Hussain, H.A., Nie, L., 2016. Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 7: 116.
- Hussain, S., Zheng, M., Khan, F., Khaliq, A., Fahad, Shah, Peng, S., Huang, J., Cui, K., Nie, L., 2015. Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Scientific Reports*, 5: 8101.
- Iqbal, H., Yaning, C., Rehman, H., Waqas, M., Ahmed, Z., Raza, S.T., Shareef, M., 2020. Improving heat stress tolerance in late planted spring maize by using different exogenous elicitors. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 80(1): 30-40.
- Jha, U.C., Bohra, A., Jha, R., Parida, S.K., 2019. Salinity stress response and 'omics' approaches for improving salinity stress tolerance in major grain legumes. *Plant Cell Reports*, 38: 255-277.
- Johnson, R., Puthur, J.T., 2021. Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162: 247-257.
- Kandil, A.A., Sharief, A.E., Kasim, M.F., 2016. Germination characters as affected by seed priming of some safflower cultivars under salinity stress. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 9(2): 65-80.
- Kaur, S., Gupta, A.K., Kaur, N., 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191(2): 81-87.
- Kaya, G., Demir, İ., Tekin, A., Yaşar, F., Demir, K., 2010. Priming uygulamasının biber tohumlarının stres sıcaklıklarında çimlenme, yağ asitleri, şeker kapsamı ve enzim aktivitesi üzerine etkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 16: 9-16.
- Khalaki, M.A., Moameri, M., Asgari Lajayer, B., Astatkie, T., 2021. Influence of nano-priming on seed germination and plant growth of forage and medicinal plants. *Plant Growth Regulation*, 93: 13-28.
- Khalid, M.F., Hussain, S., Anjum, M.A., Ejaz, S., Ahmad, M., Jan, M., Zafar, S., Zakir, I., Ali, M.A., Ahmad, N., Rao, M.J., Ahmad, S., 2019. Hydropriming for plant growth and stress tolerance. In: M. Hasanuzzaman and V. Fotopoulos (Eds.), *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 1st Edn., Springer, Singapore, pp. 373-384.
- Khan, A.A., 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Horticultural Reviews*, 13: 131-181.
- Khan, H.A., Ayub, C.M., Pervez, M.A., Bilal, R.M., Shahid, M.A., Ziaf, K., 2009. Effect of seed priming with NaCl on salinity tolerance of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) at seedling stage. *Soil & Environment*, 28(1): 81-87.
- Kohli, S.K., Handa, N., Sharma, A., Gautam, V., Arora, S., Bhardwaj, R., Wijaya, L., Alyemeni, M.N., Ahmad, P., 2018. Interaction of 24-epibrassinolide and salicylic acid regulates pigment contents, anti-oxidative defense responses, and gene expression in *Brassica juncea* L. seedlings under Pb stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15): 15159-15173.

- Kubala, S., Garneczarska, M., Wojtyła, L., Clipper, A., Kosmala, A., Zmienko, A., Lutts, S., Quinet, M., 2015. Deciphering priming-induced improvement of rapeseed (*Brassica napus* L.) germination through an integrated transcriptomic and proteomic approach. *Plant Science*, 231: 94-113.
- Lara, T.S., Lira, J.M.S., Rodrigues, A.C., Rakocovic, M., Alvarenga, A.A., 2014. Potassium nitrate priming affects the activity of nitrate reductase and antioxidant enzymes in tomato germination. *Journal of Agricultural Science*, 6(2): 72-80.
- Madany, M.M.Y., Zinta, G., Abuelsoud, W., Hozzein, W.N., Selim, S., Asard, H., Elgawad, H.A., 2020. Hormonal seed-priming improves tomato resistance against broomrape infection. *Journal of Plant Physiology*, 250: 153184.
- Mahakham, W., Sarmah, A.K., Maensiri, S., Theerakulpisut, P., 2017. Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific Reports*, 7: 8263.
- Mangena, P., 2020. Effect of hormonal seed priming on germination, growth, yield and biomass allocation in soybean grown under induced drought stress. *Indian Journal of Agricultural Research*, 54(5): 592-598.
- Maroufi, K., Farahani, H.A., Moradi, O., 2011. Evaluation of nano priming on germination percentage in green gram (*Vigna radiata* L.). *Advances in Environmental Biology*, 5(11): 3659-3663.
- Mauch-Mani, B., Baccelli, I., Luna, E., Flors, V., 2017. Defense priming: An adaptive part of induced resistance. *Annual Review of Plant Biology*, 68: 485-512.
- McDonald, M.B., 2000. Seed priming. In: M. Black and J.D. Bewley (Eds.), *Seed Technology and Its Biological Basis*, 1st Edn., Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 287-325.
- Mirmazloum, I., Kiss, A., Erdelyi, E., Ladanyi, M., Nemeth, E.Z., Radacsi, P., 2020. The Effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. *Agriculture*, 10(4): 94.
- Moghanibashi, M., Karimmojeni, H., Nikneshan, P., Behrozi, D., 2012. Effect of hydropriming on seed germination indices of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under salt and drought conditions. *Plant Knowledge Journal*, 1(1): 10-15.
- Mohammed, M.M., 2021. Disadvantages of using nanoparticles as fertilizers in Iraq. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 735: 012043.
- Mokhtari, N.E.P., Kizilgeci, F., 2021. Influence of different priming materials on germination and alpha-amylase enzyme of hybrids sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench. x *Sorghum sudanense* Staph.) seeds. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*, 5(2): 213-220.
- Moradi, A., Younesi, O., 2009. Effects of Osmo- and Hydro-priming on Seed Parameters of Grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3): 1696-1700.
- Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Latrach, L., Qaddury, A., Ghoulam, C., 2016. Seed osmopriming improves plant growth, nodulation, chlorophyll fluorescence and nutrient uptake in alfalfa (*Medicago sativa* L.)-rhizobia symbiosis under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 213: 232-242.
- Muhie, S.H., Yildirim, E., Memis, N., Demir, I., 2020. Vermicompost priming stimulated germination and seedling emergence of onion seeds against abiotic stresses. *Seed Science and Technology*, 48(2): 153-157.
- Muller, H., Berg, G., 2008. Impact of formulation procedures on the effect of the biocontrol agent *Serratia plymuthica* HRO-C48 on *Vorticillium* wilt in oilseed rape. *BioControl*, 53: 305-316.
- Musa, M., Singh, A., Lawal, A.A., 2014. Influence of priming duration on the performance of amaranths (*Amaranthus cruentus* L.) in Sokoto semiarid zone of Nigeria. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronomy*, 475953: 1-4.
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Wang, M., Ali, A., Cheng, A., Wang, X., Ma, C., 2019. Grain legumes and fear of salt stress: Focus on mechanisms and management strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4): 799.
- Nauairi, I., Jalali, K., Zribi, F., Barhoumi, F., Zribi, K., Mhadhbi, H., 2019. Seed priming with calcium chloride improves the photosynthesis performance of faba bean plants subjected to cadmium stress. *Photosynthetica*, 57(2): 438-445.
- Nawaz, A., Amjad, M., Pervez, M.A., Afzal, I., 2011. Effect of halopriming on germination and seedling vigor of tomato. *African Journal of Agricultural Research*, 6(15): 3551-3559.
- Nawaz, H., Hussain, N., Ahmed, N., Rehman, H., Alam, J., 2021. Efficiency of seed bio-priming technique for healthy mungbean productivity under terminal drought stress. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(1): 87-99.
- Neamatollahi, E., Bannayan, M., Darban, A.S., Ghanbari, A., 2009. Hydropriming and osmopriming effects on cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds germination. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 33: 526-529.
- Ozden, E., Ermis, S., Sahin, O., Taskin, M.B., Demir, I., 2018. Solid matrix priming treatment with O₂ enhanced quality of leek seed lots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46(2): 371-375.
- Özyazıcı, G., 2021. Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) bitkisinin çimlenme özelliklerine üzerine silisyum uygulamalarının etkisi. II. *International Hazar Scientific Researches Conference*, 10-12 April, Baku, Azerbaijan, pp. 485-494.
- Özyazıcı, G., Açıkbaz, S., 2021. Çemen (*Trigonella foenum-graecum* L.) bitkisinin tuz stresi altında çimlenme özelliklerinin belirlenmesi. II. *International Hazar Scientific Researches Conference*, 10-12 April, Baku, Azerbaijan, pp. 347-353.
- Paparella, S., Araujo, S.S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Corbonera, D., Balestrazzi, A., 2015. Seed priming:

- State of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34: 1281-1293.
- Patade, V.Y., Bhargava, S., Suprasanna, P., 2009. Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134(1-2): 24-28.
- Patel, R.V., Pandya, K.Y., Jasrai, R.T., Brahmabhatt, N., 2017. Effect of hydropriming and biopriming on seed germination of brinjal and tomato seed. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*, 5(6): 1-14.
- Paul, S., Rakshit, A., 2021. Effect of seed bio-priming with *Trichoderma viride* strain BHU-2953 for enhancing soil phosphorus solubilization and uptake in soybean (*Glycine max*). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21: 1041-1052.
- Peixoto da Silva, M.B., Silva, V.N., Vieira, L.C., 2021. Biopriming of sweet pepper and tomato seeds with *Ascochyta nodosum*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 74(1): 9423-9430.
- Pereira, A.S., Bortolin, G.S., Dorneles, A.O.S., Meneghello, G.E., do Amarante, L., Mauch, C.R., 2021. Silicon seed priming attenuates cadmium toxicity in lettuce seedlings. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 21101-21109.
- Posmyk, M.M., Janas, K.M., 2007. Effects of seed hydropriming in presence of exogenous proline on chilling injury limitation in *Vigna radiata* L. Seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 29: 509-517.
- Prajapati, R., Kataria, S., Jain, M., 2020. Seed priming for alleviation of heavy metal toxicity in plants: An overview. *Plant Science Today*, 7(3): 308-313.
- Prasad, T.N.V.K.V., Sudhakara, P., Sreenivasulua, Y., Lathaa, P., Munaswamy, V., Reddy, R.K., Sreeprasad, T.S., Sajanlalb, P.R., Pradeepb, T., 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition*, 35(6): 905-927.
- Qureshi, A., Singh, D.K., Dwivedi, S., 2018. Nano-fertilizers: A novel way for enhancing nutrient use efficiency and crop productivity. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2): 3325-3335.
- Radhakrishnan, R., Khan, A.L., Lee, I.J., 2013. Endophytic fungal prepretreatments of seeds alleviates salinity stress effects in soybean plants. *Journal of Microbiology*, 51: 850-857.
- Raj, A.B., Raj, S.K., 2019. Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, 11(1): 227-234.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, K., Bally, J., Job, C., Job, D., 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology*, 63: 507-533.
- Rakshit, A., Singh, H.B., 2018. Advances in Seed Priming (1st Eds.). Springer, Singapore.
- Rao, M.J., Hussain, S., Anjum, M.A., Saqib, M., Ahmad, R., Khalid, M.F., Sohail, M., Nafees, M., Ali, M.A., Ahmad, N., Zakir, I., Ahmad, S., 2019. Effect of seed priming on seed dormancy and vigor. In: M. Hasanuzzaman and V. Fotopoulos (Eds.), *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 1st Edn., Springer, Singapore, pp. 135-145.
- Ray, P.M., 1960. On the theory of osmotic water movement. *Plant Physiology*, 35: 783.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., Vivekanandan, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1189-1202.
- Reddy, P.P., 2012. Bio-priming of seeds. In: P.P. Reddy (Ed.), *Recent Advances in Crop Protection*, 1st Eds., Springer, New Delhi, pp. 83-90.
- Rhaman, M.S., Imran, S., Rauf, F., Khatun, M., Baskin, C.C., Murata, Y., Hasanuzzaman, M., 2021. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*, 10(1): 37.
- Ribeiro, E.C.G., Reis, R.G.E., Vilar, C.C., Vilar, F.C.M., 2019. Physiological quality of *Urochloa brizantha* seeds submitted to priming with calcium salts. *SciELO-Brazil*, 49: e55341.
- Robledo, D.A.R., 2020. Effects of halopriming on seed germination and seedling emergence of *Capsicum frutescens*. *Journal of Botany Research*, 3(1): 114-118.
- Sabagh, A.E., Çiğ, F., Seydoşoğlu, S., Battaglia, M.L., Javed, T., Iqbal, M.A., Mubeen, M., Ali, M., Ali, M., Bengisu, G., Konuşkan, Ö., Barutcular, C., Erman, M., Açıkbaş, S., Hossain, A., Islam, M.S., Wasaya, A., Ratnasekera, D., Arif, M., Ahmad, Z., Awad, M., 2021a. Salinity stress in maize: Effects of stress and recent developments of tolerance for improvement. In: A.K. Goyal (Ed.), *Cereal Grains*, Volume 1, IntechOpen, London, pp. 1-20.
- Sabagh, A.E.L., Hossain, A., Islam, M.S., Iqbal, M.A., Amanet, K., Mubeen, M., Nasim, W., Wasaya, A., Llanes, A., Ratnasekera, D., Singhal, R.K., Kumari, A., Meena, R.S., Abdelhamid, M., Hasanuzzaman, M., Raza, M.A., Özyazici, G., Özyazici, M.A., Erman, M., 2021b. Prospective role of plant growth regulators for tolerance to abiotic stresses. In: T. Aftab and K.R. Hakeem (Eds.), *Plant Growth Regulators*, 1st Eds., Springer, Cham., Switzerland, pp. 1-38.
- Sabagh, A.E.L., Hossain, A., Islam, M.S., Iqbal, M.A., Fahad, S., Ratnasekera, D., Azeem, F., Wasaya, A., Sytar, O., Kumar, N., Llanes, A., Erman, M., Ceritoglu, M., Arslan, A., Arslan, D., Hussain, S., Mubeen, M., Ikram, M., Meena, R.S., Gharib, H., Waraich, E., Nasim, W., Liu, L., Saneoka, H., 2020. Consequences and mitigation strategies of heat stress for sustainability of soybean (*Glycine max* L. Merr.) production under the changing climate. In: A. Hossain (Ed.), *Plant Stress Physiology*, 1st Edn., IntechOpen, London, pp. 1-22.
- Sen, A., Johnson, R., Puthur, J.T., 2021. Seed priming: A cost-effective strategy to impart abiotic stress tolerance. In: A. Husen (Ed.), *Plant Performance Under Environmental Stress*, 1st Edn., Springer, Cham, pp. 459-480.
- Sen, S.K., Chouhan, D., Das, D., Ghosh, R., Mandal, P., 2020. Improvisation of salinity stress response in

- mung bean through solid matrix priming with normal and nano-sized chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 145: 108-123.
- Shariatmadari, M.H., Parsa, M., Nezami, A., Kafi, M., 2017. The effects of hormonal priming on emergence, growth and yield of chickpea under drought stress in glasshouse and field. *Bioscience Research*, 14(1): 34-41.
- Sher, A., Sarwar, T., Nawaz, A., Ijaz, M., Sattar, A., Ahmad, S., 2019. Methods of seed priming. In: M. Hasanuzzaman and V. Fotopoulos (Eds.), *Priming and Pretreatment of Seeds and Seedlings*, 1st Edn., Springer, Singapore, pp. 1-10.
- Sheteiwy, M.S., Shao, H., Qi, W., Daly, P., Sharma, A., Shaghaleh, H., Hamoud, Y.A., El-Esawi, M.A., Pan, R., Wan, Q., Lu, H., 2020. Seed priming and foliar application with jasmonic acid enhance salinity stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(5): 2027-2041.
- Shinwari, K.I., Jan, M., Shah, G., Khattak, S.R., Urehman, S., Daud, M.K., Jamil, M., 2015. Seed priming with salicylic acid induces tolerance against chromium (VI) toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 47: 161-170.
- Singh, M., Gill, S.S., Sandhu, K.K., 1999. Improved performance of muskmelon (*Cucumis melo*) seeds with osmoconditioning. *Acta Agrobotanica*, 52(1-2): 121-126
- Singh, M.D., Chirag, G., Prakash, P., Mohan, M.H., Prakasha, G., Vishwajit, H., 2017. Nano fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9(7): 3831-3833.
- Singh, S., Singh, U.B., Triverdi, M., Sahu, P.K., Paul, S., Paul, D., Saxena, A.K., 2020. Seed biopriming with salt-tolerant endophytic *Pseudomonas geniculata*-modulated biochemical responses provide ecological fitness in maize (*Zea mays* L.) grown in saline sodic soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1): 253.
- Siregar, I., Muharam, K.F., Purwanto, Y.A., Sudrajat, D.J., 2020. Seed germination characteristics in different storage time of *Gmelina arborea* treated with ultrafine bubbles priming. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(10): 4558-4564.
- Sirisuntornlak, N., Ullah, H., Sonjaroon, W., Arirob, W., Anusontpornperm, S., Datta, A., 2021. Effect of seed priming with silicon on growth, yield and nutrient uptake of maize under water-deficit stress. *Journal of Plant Nutrition*, 44(13): 1869-1885.
- Sivritepe, H.Ö., Şentürk, B., 2011. Biber tohumlarının fizyolojik olarak iyileştirilmesi için su ve tuz çözeltileri ile yapılan priming ve kurutma uygulamalarının karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(1): 53-64.
- Sivritepe, N., Sivritepe, H.Ö., Eris, A., 2003. The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Scientia Horticulturae*, 97(3-4): 229-237.
- Soliman, M.H., Abdulmajeed, A.M., Alhaithloul, H., Alharbi, B.M., El-Esawi, M.A., Hasanuzzaman, M., Elkelish, A., 2020. Saponin biopriming positively stimulates antioxidants defense, osmolytes metabolism and ionic status to confer salt stress tolerance in soybean. *Acta Physiol Plant*, 42: 114.
- Soughir, M., Aymen, E.M., Cherif, H., 2012. Effect of NaCl priming duration and concentration on germination behavior of fenugreek. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 4(11): 193-198.
- Soysal, S., Çığ, F., Erman, M., 2020. Siirt ili koşullarında mikrobiyolojik ve inorganik gübrelemenin ekmeklik ve makarnalık buğdayda verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9): 178-186.
- Stanley, L., Paolo, B., Lukasz, W., Szymon K.S., Roberta P., Katzarina L., Muriel, Q., Malgorzata G., 2016. Seed priming: New comprehensive approaches for an old empirical technique. In: S. Araujo (Ed.), *New Challenges in Seed Biology-Basic and Translational Research Driving Seed Technology*, 1st Edn., InTechOpen, London, pp. 1-46.
- Sytar, O., Kumari, P., Yadav, S., Brestic, M., Rastogi, A., 2019. Phytohormone priming: Regulator for heavy metal stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38: 739-752.
- Tabassum, T., Ahmad, R., Farooq, M., Basra, S.M.A., 2018. Improving the drought tolerance in barley by osmopriming and biopriming. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(7): 1597-1606.
- Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohain, A., Wahid, A., 2017. Seed priming and transgenerational drought memory improves tolerance against salt stress in bread wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 118: 362-369.
- Tania, S.S., Rhaman, M.S., Hossain, M.M., 2020. Hydro-priming and halo-priming improve seed germination, yield and yield contributing characters of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Tropical Plant Research*, 7(1): 86-93.
- Taylor, A.G., Klein, D.E., Whitlow, T.H., 1988. SMP: Solid matrix priming of seeds. *Scientia Horticulturae*, 37(1-2): 1-11.
- Ulfat, A., Majid, S.A., Hameed, A., 2017. Hormonal seed priming improves wheat (*Triticum aestivum* L.) field performance under drought and non-stress conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 49(4): 1239-1253.
- Upadhyaya, H., Begum, L., Dey, B., Nath, P.K., Panda, S.K., 2017. Impact of calcium phosphate nanoparticles on rice plant. *Journal of Plant Science and Phytopathology*, 1: 1-10.
- Waller, F., Achatz, B., Baltruschat, H., Fodor, J., Becker, K., Fischer, M., Heier, T., Huckelhoven, R., Neumann, C., Von-Wettstein, D., 2005. The endophytic fungus *Piriformis indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102: 13386-13391.

- Willey, N., 2016. Environmental Plant Physiology (1st Ed.). Taylor & Francis, New York.
- Wright, B., Rowse, H.R., Whipps, J.M., 2003. Application of beneficial microorganisms to seeds during drum priming. *Biocontrol Science and Technology*, 13(6): 599-614.
- Wu, L., Yao, D., Li, M., 2017. Effects of solid matrix priming with *Trichoderma harzianum* on seed germination, seedling emergence and photosynthetic capacity of eggplant. *African Journal of Biotechnology*, 16(14): 699-703.
- Wu, L., Huo, W., Yao, D., Li, M., 2019. Effects of solid matrix priming (SMP) and salt stress on broccoli and cauliflower seed germination and early seedling growth. *Scienia Horticulturae*, 255: 161-168.
- Xu, Y.X., Mao, J., Chen, W., Qian, T.T., Liu, S.C., Hao, W.J., Li, C.F., Chen, L., 2016. Identification and expression profiling of the auxin response factors (ARFs) in the tea plant (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) under various abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 98: 46-56.
- Vaktabhai, C.K., Kumar, S., 2017. Seedling invigouration by halo priming in tomato against salt stress. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(6): 716-722.
- Valadkhan, M., Mohammadi, K., Nezha, M.T.K., 2015. Effect of priming and foliar application of nanoparticles on agronomic traits of chickpea. *Biological Forum - An International Journal*, 7(2): 599-602.
- Yari, L., Aghaalikani, M., Khazaei, F., 2010. Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *ARPJN Journal of Agricultural and Biological Science*, 5(1): 1-6.
- Zulueta-Rodriguez, R., Hernandez-Montiel, L.G., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E.O., Capistran, L.L., Troyo-Dieguez, E., Cordoba-Matson, M.V., 2015. Effect of hydropriming and biopriming on seed germination and growth of two mexican fir tree species in danger of extinction. *Forests*, 6(9): 3109-3122.